

Aus der Abteilung für klinische Prothetik
(Leiter: Professor Dr. med. dent. Karl Eichner)
der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik
des Fachbereiches Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

**UNTERSUCHUNGEN
VON LÖTUNGEN
AN GOLDREDUZIERTEN LEGIERUNGEN
FÜR METALLKERAMISCHEN ZAHNERSATZ**

Dissertation

zur

Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
am Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Zahnarzt Rüdiger Koppe-Gründt
aus Berlin

Promoviert am 14. Dezember 1983



Aus der Abteilung für klinische Prothetik
(Leiter: Professor Dr. med. dent. Karl Eichner)
der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik
des Fachbereiches Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

**UNTERSUCHUNGEN
VON LÖTUNGEN
AN GOLDREDUZIERTEN LEGIERUNGEN
FÜR METALLKERAMISCHEN ZAHNERSATZ**

Dissertation
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
am Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Zahnarzt Rüdiger Koppe-Gründt
aus Berlin

Promoviert am 14. Dezember 1983

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches Zahn-, Mund-
und Kieferheilkunde der Freien Universität Berlin

Referent: Professor Dr. med. dent. Karl Eichner

1. Korreferent: Professor Georg Sauer

2. Korreferent: Professor Dr. Heinrich Newesely

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

	Seite
1. Einleitung	7 - 9
2. Allgemeiner Teil	10
2.1. Das Löten	10
2.1.1. Merkmale des Lötens	10
2.2. Herkömmliches Verfahren	10 - 11
2.3. Hochtemperaturlöten	11 - 12
2.4. Der Löt Ablauf nach der DIN-Norm 8505	13
2.4.1. Charakteristische Temperaturen	13 - 14
2.4.2. Charakteristische Zeiten	14 - 16
2.5. Lotausbreitung und Spaltfüllung	17 - 18
2.6. Bereich der Lötgeometrie	19 - 20
2.7. Sonstige Begriffe	21
2.8. Wortzusammensetzung	22
2.9. Das Löten in der Zahntechnik	23
2.9.1. Vorbemerkungen	23 - 24
2.9.2. Der Lötvorgang	25 - 27
2.10. Bisherige Untersuchungen über die Festigkeit von zahntechnischen Lötverbindungen	28 - 30
2.11. Der Füllgrad von Lötspalten	31 - 32
2.12. Das Video-Plan-Gerät	33 - 35

	Seite
3.	Spezieller Teil 36
3.1.	Beschreibung der untersuchten Werkstoffe 36
3.1.1.	Beschreibung der verwendeten Aufbrenn- legierungen für Metallkeramik 36 - 39
3.1.2.	Beschreibung der verwendeten Legierungen für die Kombination mit Aufbrennlegierungen 40
3.1.3.	Beschreibung der verwendeten Lote 41 - 42
3.2.	Durchführung der Lötuntersuchungen 43
3.2.1.	Herstellung der Prüfkörper 43 - 45
3.2.2.	Vorbereitung der Lötuntersuchungen 46 - 49
3.2.3.	Schliffe 50
3.2.4.	Mikroskopische Besichtigung der Löt Nähte 50
3.2.5.	Die Füllgradmessung 51
3.2.5.1.	Füllgrad vor dem Brennen (Flammenlötung) 52
3.2.5.2.	Füllgrad nach dem Brennen (Ofenlötung) 52 - 70
3.2.6.	Ergebnisse aufgrund der mikroskopischen Untersuchungen und der Füllgradmessungen 71 - 73
4.	Diskussion 74 - 76
5.	Klinische Schlußfolgerungen 77
6.	Zusammenfassung 78
7.	Literaturverzeichnis 79 - 82
8.	Lebenslauf 83



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546618_0039

1. EINLEITUNG

Aufgrund der in der Bundesrepublik abgeschlossenen Prothetikverträge von 1974 zwischen Zahnärzten und Krankenkassen kam es in kurzer Zeit zu einer Steigerung des nationalen Dental-Goldverbrauchs um etwa 60 %. Gemäß derselben Statistik betrug der weltweite Goldverbrauch 1980 61,7 t, von denen in der Bundesrepublik 25,2 t (40 %) verarbeitet wurden. Die USA, deren Einwohnerzahl etwa viermal größer ist als die der Bundesrepublik Deutschland, benötigten in derselben Zeit 13,8 t.

Diese Zahlen sind nur vor dem Hintergrund des sozialen Netzes unseres Landes zu verstehen, welches bei allen seinen positiven Auswirkungen auch die oben beschriebene Entwicklung entscheidend beeinflußt hat. Bei starkem Anstieg des Goldpreises in den Jahren 1980 und 1981 entstand der Wunsch nach dem Einsatz kostengünstigerer Legierungen, um die Kosten für Zahnersatz zu senken.

Im Bundesanzeiger Nr. 192/1981(1) wurden daher neue Richtlinien für die zahnärztliche prothetische Versorgung unserer Patienten festgelegt und edelmetallreduzierte Legierungen oder auch goldreduzierte Legierungen mit weniger als 75 % Goldgehalt favorisiert.

In der Fachliteratur sind bisher jedoch so gut wie keine wissenschaftlichen Untersuchungen über goldreduzierte Legierungen veröffentlicht worden.



In der prothetischen Zahnheilkunde werden derzeit hohe Anforderungen an Funktionen und Ästhetik von festsitzendem Zahnersatz gestellt. Die "Metallkeramik" (ein aufbrennkeramisches Verfahren) eignet sich zur ästhetisch akzeptablen Verblendung von festsitzendem Zahnersatz.

Bei Brückenanfertigungen können neben dem sogenannten Einstückgußverfahren Kronen und Zwischenglieder einer Brücke als Einzelstück hergestellt werden. Dieses Verfahren ist in den Fällen notwendig geworden, in denen die Krankenkasse für die metallkeramische Verblendung im Seitenzahnggebiet keinen Zuschuß gewährt, sondern nur Gußkronen bewilligt haben.

Es können die einzelnen Anteile einer Brücke vor dem Verblenden mit keramischen Massen mit Hilfe von speziellen Loten über das Lötverfahren verbunden oder die Einzelobjekte nach dem Verblenden zusammengelötet werden. Die Lötstelle muß eine klinische Verwendung des Zahnersatzes gestatten und genügend Festigkeit aufweisen, um die im Munde vorkommenden Kräfte auszuhalten.

Ziel dieser Arbeit ist es, Hinweise zu gewinnen, ob es beim Verlöten verschiedener goldreduzierter Legierungen zu einer Diffusion des Lotes in die zu verbindenden Gußobjekte kommt, oder ob es sich um ein mechanisches Verkleben von Werkstücken handelt. Die weiteren Fragestellungen dieser Arbeit sind: Wie sehen Lotnähte aus, wenn vor bzw. nach keramischer Verblendung gelötet wurde, und welcher Füllgrad des Lotspaltes

wird mit dem herkömmlichen Lötverfahren (Flammenlötung-Ofenlötung) in zahntechnischen Laboratorien erreicht.

Aus diesen Untersuchungen könnten wichtige Hinweise für die Wahl der Aufbrennlegierung und die Wahl der Verarbeitungstechnik gegeben werden.

2. ALLGEMEINER TEIL

2.1. Das Löten

Das Löten ist das älteste thermische Verbindungsverfahren zweier Metalle. Es ist als Hartlöten wie auch als Weichlöten seit etwa 3800 v. Chr. bekannt (STEIDL -18).

2.1.1. Merkmale des Lötens

Unter Löten wird das Verbinden von Teilen aus metallischen Werkstoffen mit Hilfe eines metallischen Zusatzwerkstoffes, des Lotes, verstanden. Die Schmelztemperatur des Lotes liegt stets unter der der zu verbindenden Werkstücke. Voraussetzung für fehlerfreie Lötungen sind saubere und oxidfreie Lötflächen. Die Oxide können mit geeigneten Flußmitteln, desoxidierenden Gasen oder im Vakuum beseitigt werden (6).

2.2. Herkömmliche Verfahren

Nach der Höhe der Schmelztemperaturen wird unterschieden:

- a) Weichlöten bei Temperaturen unterhalb 450° C. Die hierbei verwendeten Lote sind weitgehend Blei-Zinn-Legierungen. Hauptanwendungsgebiete sind Elektronik, Kühlerbau, Installationstechnik. Weichlötverbindungen genügen nur niedrigen Festigkeitsansprüchen.

- b) Hartlöten bei Temperaturen oberhalb 450° C. Die häufigsten Bestandteile von Hartloten sind Silber, Kupfer und Zink. Bevorzugte Lote sind Silber-Lote. Die Zugfestigkeit der Hartlötverbindungen erreicht - abhängig vom Werkstoff der zu verbindenden Teile und der Spaltbreite - Werte bis etwa 600 N/mm² (6).
- c) Hochtemperaturlöten ist flußmittelfreies Löten unter Luftabschluß (Vakuum-Schutzgaslöten) mit Loten, deren Liquiduspunkt oberhalb 900° C liegt (DIN 8505 - 2).

Durch die Diffusion der Lotbestandteile in das Metall und umgekehrt erfolgt die Verbindung der Werkstücke. Bei einem homogenen Lötgefüge sind die Kristalle des Lotes in das Gefüge des Gusses eingewachsen. Die eigentliche Grenze zwischen Lot und Gußmaterial ist nicht zu erkennen. Eine Abgrenzung ist nur durch die inhomogene Struktur des Lotes ersichtlich (WEIKART - 22).

Die Lötverbindungen durch Weichlöten besitzen ein heterogenes Gefüge und sind nicht mundbeständig. Deshalb wird in der Zahntechnik fast ausschließlich das Hartlöten angewendet.

2.3. Hochtemperaturlöten

In vielen Bereichen der Technik, z.B. Kernreaktorbau, Flugzeugtriebwerksbau und Apparatebau, treten Betriebsbedingungen auf, bei denen die Werkstoffe Temperaturen im Bereich von 1000° C ausgesetzt

sind. Hinzu kommt teilweise die Anwesenheit aggressiver chemischer Substanzen und hohe dynamische Beanspruchung. Für diese extremen Betriebsbedingungen wurden komplizierte Werkstoffe mit Festigkeiten bis zu 1500N/mm^2 entwickelt. Um diese Werkstoffe stoffschlüssig, d.h. ohne mechanische Bindeglieder, miteinander derart verbinden zu können, daß ihre Festigkeit voll ausgenutzt wird, die Verbindungsstelle also nicht schwächer als der Fügeilwerkstoff selbst ist, müssen geeignete Verbindungsverfahren zur Verfügung stehen. Ein solches Verfahren ist das Hochtemperaturlöten. Die Hauptsysteme der hierbei verwendeten Lote sind mit ihren Schmelztemperaturen oder -bereichen im folgenden Schema (Abb. 1) zusammengestellt:

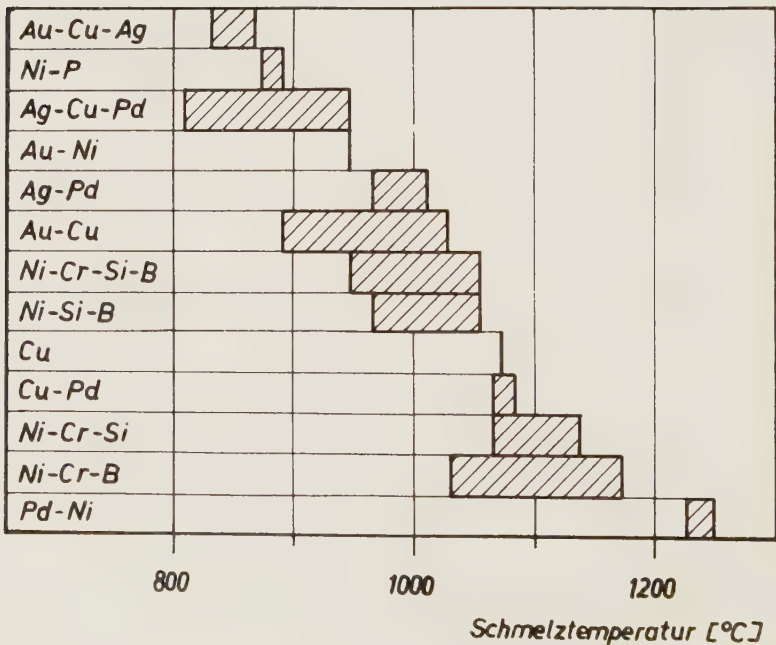


Abb. 1 Schmelztemperaturen und -bereiche von Lot (6)

2.4. Löttablauf nach der DIN-Norm 8505

Die DIN-Norm 8505 Teil I beschreibt die Begriffe des Löttablaufs wie folgt:

2.4.1. Charakteristische Temperaturen

2.4.1.1. Schmelzbereich des Lotes

Schmelzbereich eines Lotes ist der Temperaturbereich vom Beginn des Schmelzens (Solidustemperatur) bis zur vollständigen Verflüssigung (Liquidustemperatur).

2.4.1.2. Arbeitstemperatur

Arbeitstemperatur ist die niedrigste Oberflächentemperatur an der Lötstelle, bei der das Lot benetzt oder sich durch Grenzflächendiffusion eine flüssige Phase bildet. Beim Anwenden geeigneter Flußmittel ist sie eine vom Lot abhängige Konstante.

2.4.1.3. Löttemperatur

Löttemperatur ist die beim Löten an der Lotstelle herrschende Temperatur. Sie liegt oberhalb der Arbeitstemperatur.

2.4.1.4. Durchwärmtemperatur

Durchwärmtemperatur ist die Temperatur, bei der die Lötteile gleichmäßig durchwärmt werden. Sie liegt unter der Solidustemperatur des Lotes.

2.4.1.5. Wirktemperaturen

2.4.1.5.1. Untere Wirktemperatur

Untere Wirktemperatur ist die Temperatur, bei der die Wirkung der Flußmittel und Lötatmosphären einsetzt.

2.4.1.5.2. Obere Wirktemperatur

Obere Wirktemperatur ist die Temperatur, bei der die Wirkung der Flußmittel endet.

2.4.1.5.3. Wirktemperaturbereich

Wirktemperaturbereich ist der durch die untere und durch die obere Wirktemperatur begrenzte Temperaturbereich.

2.4.2. Charakteristische Zeiten

2.4.2.1. Lötzeit

Die Lötzeit ist die Zeitspanne von Beginn des Aufwärmens des Lotes bis zur Erstarrung.

2.4.2.2. Aufwärmzeit

Aufwärmzeit ist die Zeitspanne, in der die Löttemperatur erreicht wird. Sie enthält Durchwärmzeiten und kann Entgassungszeiten und andere enthalten.

2.4.2.3. Durchwärmzeit

Durchwärmzeit ist die Zeitspanne, in der die zu lötenden Teile auf Durchwärmtemperatur gehalten werden.

2.4.2.4. Haltezeit

Haltezeit ist die Zeitspanne, in der die Lötstelle auf Löttemperatur gehalten wird.

2.4.2.5. Abkühlzeit

Abkühlzeit ist die Zeitspanne, in der die Lötstelle von der Löttemperatur abkühlt. Sie kann Zeiten für die Wärmenachbehandlung des gelöteten Bauteiles enthalten.

2.4.2.6. Gesamtzeit

Gesamtzeit ist die Zeitspanne, die sich aus Aufwärm-, Halte- und Abkühlzeit zusammensetzt.

2.4.2.7. Wirkzeit

Wirkzeit ist die Zeitspanne, über die ein Flußmittel während des Lötens wirksam bleibt. Sie ist verfahrensabhängig.

2.5. Lotausbreitung und Spaltfüllung

2.5.1. Benetzen

Benetzen ist in der Löttechnik das irreversible Ausbreiten eines geschmolzenen Lotes auf der Werkstoffoberfläche.

2.5.2. Entnetzen

Entnetzen ist in der Löttechnik das Zusammenziehen eines vorher auf der Oberfläche ausgebreiteten geschmolzenen Lotes.

2.5.3. Fließweg

Fließweg ist der Weg, den das geschmolzende Lot von der Lotansatzstelle ausgehend zurücklegt.

2.5.4. Kapillarer Fülldruck

Kapillarer Fülldruck ist der Druck, der das geschmolzene Lot - auch entgegen der Schwerkraft - in den Lötspalt treibt.

2.5.5. Füllgrad

Füllgrad ist der prozentuale Anteil des mit erstarrtem Lot gefüllten Lötnahtvolumens.

2.5.6. Bindevorgang

Bindevorgang ist der Vorgang, bei dem durch metallurgische Reaktion zwischen flüssiger Phase und festem Grundwerkstoff eine Bindung entsteht.

2.6. Bereich der Lötgeometrie

2.6.1. Lötstoß

Der Lötstoß kennzeichnet durch Art und Form den Bereich, in dem die Teile durch Löten verbunden werden sollen. Die Stoßart wird durch die konstruktive Anordnung der Teile zueinander bestimmt.

2.6.2. Lötspalt

Der Lötspalt ist ein zwischen den zu lötenden Teilen befindlicher enger, weitgehend paralleler Spalt, der vorzugsweise durch kapillaren Fülldruck mit Lot gefüllt wird.

2.6.3. Lötfuge

Die Lötfuge ist ein zwischen den zu lötenden Teilen befindlicher Spalt (Fuge), der vorwiegend mit Hilfe der Schwerkraft mit Lot gefüllt wird.

2.6.4. Lötspaltbreite, Lötfugenbreite

Lötspalt- und Lötfugenbreite sind der konstruktiv vorgegebene Abstand zwischen den Lötflächen der zu lötenden Teile.

2.6.5. Lötnaht

Die Lötnaht verbindet die Teile am Lötstoß. Sie wird nicht nur durch die Art und Form des Lötstoßes bestimmt, sondern auch durch das Lotverhalten, die verwendeten Grundwerkstoffe und Zusatzwerkstoffe.

2.6.6. Lötnahtbreite

Die Lötnahtbreite ist der Abstand zwischen den Grenzen zu den metallurgisch unbeeinflussten Grundwerkstoffen.

2.6.7. Übergangszone

Die Übergangszone ist die Zone, die durch metallurgische Reaktion beim Löten entsteht.

2.7. Sonstige Begriffe

2.7.1. Lötteil, Lötgruppe, Bauteil

Zu lötfende Teile werden am Lötstoß durch Löt-nähte zu einem Lötteil verbunden. Eine Lötgruppe entsteht durch das Löten von Lötteilen. Das fertige Bauteil kann aus einem Lötteil oder aus einer oder mehreren Lötgruppen bestehen.

2.7.2. Lötdepot

Lötdepot ist ein nur für die Aufnahme des Lotes konstruktiv festgelegter Raum, aus dem das Lot beim Löten austritt.

2.7.3. Lötbarkeit, Löteignung, Lötmöglichkeit und Lötsicherheit

Siehe DIN 8514 Teil 1, da diese Begriffe für die vorliegenden Untersuchungen von untergeordneter Bedeutung sind.

2.8. Wortzusammensetzung

2.8.1. Lot...

Benennung des Ausgangsbegriffs für eine Wortzusammensetzung, durch die besondere Formen eines Zusatzwerkstoffes zum Löten bezeichnet wird, z.B. Lotform, Lotdraht, Lotblech, Lotpulver.

2.8.2. Löt...

Benennung des einzuschränkenden Merkmales für eine Wortzusammensetzung, durch die Verfahren, Hilfsstoffe, Werkstücke oder Geräte in der Löttechnik benannt wird. z.B. Lötmethode, Lötbrenner, Lötöfen LötKolben.

2.9. Das Lötén in der Zahntechnik

2.9.1. Vorbemerkungen

Das Lötén in der Zahntechnik wird empirisch durchgeführt und wurde bisher nicht mit den Maßstäben industriellen Lötens gemessen und verglichen.

Man wendet zwei Verfahren an: das freie Lötén mit der Flamme und die Ofenlötung. Bei der Flammenlötung wird die Erhitzung und Beurteilung der erwärmten Lötobjekte dem subjektiven Erfahrungswert des Technikers überlassen, bei der Ofenlötung geschieht die Lötung bei Erreichen der vorgewählten Temperatur.

Das Lötén ist ein wichtiger Arbeitsgang in der Zahntechnik und somit auch in der zahnärztlichen Prothetik. Es wird bei Temperaturen oberhalb von 450° C durchgeführt und ist daher dem Hartlötén zuzuordnen.

Man hat die Möglichkeit, zwei verschiedene Legierungen, die nicht in einem Stück gegossen werden können, oder einzelne Kronen und Brückenelemente aus einer Legierung, die aus zahntechnischen oder klinischen Gründen getrennt vorliegen, nachträglich miteinander zu verbinden.

Als Beispiel sei die klassische Seitenzahnbrücke von 35 nach 37 zum Ersatz von 36 genannt, die aus edelmetallreduzierten Legierungen hergestellt werden soll. Der Versicherungsträger lehnt eine metallkeramische Verblendung des Zahnes 37 ab. Daraus resultiert ein Brückengerüst zur Aufnahme einer keramischen Verblendung des Zahnes 35 und des Brückengliedes 36, verlötet mit einer Gußkrone aus einer goldreduzierten Legierung vom Typ Stabilor¹⁾ oder Hera²⁾ SG. Die Gußkrone und das Metallkeramikteil können in diesem Falle erst nach dem Brennen verlötet werden, da das Schmelzintervall der Gußkrone unter der Aufbrenntemperatur liegt. Die Festigkeit und Haltbarkeit dieser Brücke sollten durch die Lötstelle nicht vermindert sein.

Daher muss untersucht und diskutiert werden, ob es zu einer Diffusion des Lotes in die zu verbindenden Gußobjekte und somit zu deren metallischer Verbindung kommt, oder ob es sich um ein mehr oder weniger mechanisches Verkleben von Werkstücken handelt (WEBER - 21). Die zuletztgenannte Situation kann z.B. gegeben sein, wenn die Arbeitstemperatur des Lotes relativ niedrig und der Soliduspunkt der zu lötenden Legierung relativ hoch liegen (WEBER - 21).

1) Firma Degussa

2) Firma Heraeus

2.9.2. Der Lötvorgang

Voraussetzung für den Lötvorgang ist das lagegerechte Einbetten der Gußteile und die Freilegung des Lötspaltes. Damit das Lot fließen und die zu verbindenden Teile benetzen kann, muß der Grundwerkstoff auf die Arbeitstemperatur des Lotes erhitzt werden.

Beim Verlöten von Aufbrennlegierungen ist die erforderliche Höhe der Arbeitstemperatur davon abhängig, ob das Verblenden mit keramischen Massen vor oder nach der Lötung durchgeführt wird.

Demnach unterscheidet man beim Verlöten von Aufbrennlegierungen zwei Verfahren:

1. Das Löten vor dem Brennen der keramischen Massen und
2. das Löten nach dem Brennen.

Das Aufbrennen der keramischen Schmelzmassen erfordert Temperaturen von 980° C. Bei Verblendungen von vorher gelöteten Arbeiten muß der Soliduspunkt des Lotes höher liegen als der Schmelzpunkt der keramischen Massen, um die Verbindung der verlöteten Werkstücke nicht zu gefährden.

Beim Löten nach dem Brennen erfolgt zuerst das Verblenden der Einzelglieder der Brücke mit keramischer Masse. Im Anschluß daran werden die Einzelglieder zur Brücke zusammengelötet. Dafür muß die Löttemperatur des Lotes unterhalb der Brenntemperatur und dem Liquiduspunkt der nicht zu verblendenden Teile liegen.

Es werden zwei Techniken angewendet, mit denen Lot und Werkstück auf ihre Arbeitstemperatur erhitzt werden können:

1. Die Ofenlötung,
2. Die Flammenlötung.

Bei der Ofenlötung wird das zu verlötende Werkstück zusammen mit Lot und Flußmittel in einem Keramik-Brennofen gleichmäßig auf seine Arbeitstemperatur erwärmt. Die Höhe der Ofentemperatur kann dabei am Thermostat des Brennofens eingestellt werden. Durch die einstellbare Begrenzung der Ofentemperatur wird ein Überhitzen des Lotes verhindert.

Die Technik der Ofenlötung ist ausschließlich für das Löten nach dem Brennen anwendbar. Ein Löten vor dem Brennen im Keramik-Ofen ist nicht möglich, da die maximal erzielbaren Temperaturen der Ofenlötung nicht die hohen Arbeitstemperaturen der Lote erreichen, die beim Löten vor dem Brennen erforderlich sind.

Für das Löten mit der Flamme sind Brenngas-Sauerstoff- und Brenngas-Druckluft-Gemische geeignet. Die Höhe der Flammentemperatur ist abhängig von dem Mischungsverhältnis Brenngas zu Sauerstoff bzw. Brenngas zu Druckluft. Mit Hilfe der Flamme ist ein gezieltes Erwärmen zum gerichteten Fließen des Lotes möglich. Bei einem Temperaturunterschied an der Lötstelle fließt das Lot in Richtung auf die heiße Stelle.

Da die Temperaturführung bei der Flammenlötung schlecht kontrollierbar ist, besteht die Gefahr der Überhitzung des Lotes bzw. dessen Oxidation.

Unter Oxidation versteht man die Bildung von Metalloxiden durch das Verbinden der Metalle mit Sauerstoff. Ein Verbinden der Metallstücke durch Lötung ist nicht mehr möglich, wenn die Lötflächen oxidiert sind. Allerdings müssen Legierungen, die für metallkeramische Arbeiten geeignet sind, oxidieren, um eine Bindung mit der keramischen Masse eingehen zu können. Daher ist bei Erwärmung mit einer Oxidschicht zu rechnen, die den Lötvorgang beeinträchtigen oder verhindern könnte.

Um die Oxidation des Lotes und der zu verbindenden Metallstücke zu vermindern, kann unter Argon-Schutzgas im Keramik-Brennofen gelötet werden.

Argon steht im periodischen System der Elemente in der Gruppe der Edelgase. Vor ca. 30 Jahren wurde Argon erstmalig in der Gußtechnik verwendet. Es wurde über dem Schmelztiegel ausgeblasen, um den Sauerstoff zu verdrängen und die Oxidation des Gußmaterials zu verhindern.

An dem Keramik-Brennofen ist eine Saugpumpe angeschlossen, die ein hohes Vakuum in der Ofenkammer herstellt. Um eine völlige Sauerstofffreiheit herzustellen, ist es zweckmäßig durch das Einströmen von Argon den noch verbleibenden Sauerstoff zu verdrängen und so eine Lötung unter vollständiger Sauerstofffreiheit zu ermöglichen. Obgleich dieses Verfahren zweckmäßig ist, wird es in der Laborpraxis nur selten angewendet.

2.10. Bisherige Untersuchungen über die Festigkeit von
 zahntechnischen Lötverbindungen

Umfangreiche Untersuchungen über das Löten in der Zahntechnik wurden von PRSKAWETZ (14) durchgeführt. Seine Untersuchungen führten zu dem Ergebnis, daß die Festigkeit der Lötverbindungen wesentlich von der Lötspaltbreite, der Höhe und der Lötzeit abhängen. Zusätzlich kommen der Parallelwandigkeit und Sauberkeit der Lötflächen Bedeutung zu. Ähnliche Ergebnisse liegen vor von FALCK (7), SCHOENBECK (16), SCHWICKERATH (17), STEIDL (18) und WEIKART (22).

Die Lötspaltbreite soll zwischen 0,05 und 0,2 mm betragen. Bei breiteren Lötspalten sinkt die Festigkeit der Lötverbindungen aufgrund der geringer werdenden Kapillarkräfte für das fließende Lot. Der Lötspalt soll parallelwandig gestaltet werden, damit das Fließen des Lotes nicht unterbrochen wird. Die zu verlötenden Teile müssen metallisch blank sein, damit das Lot die Einzelteile nach gleichmäßiger Erwärmung und lückenloser Ausbreitung zuverlässig benetzen und miteinander verbinden kann. WAGNER (19) und WEIKART (22) geben an, daß die Zeitdauer des Lötvorgangs für die Festigkeit bedeutend ist. Sie weisen auf das Tempern hin, um die Festigkeit einer Lötverbindung nachträglich zu verbessern.

Hohe Temperaturen, wie sie das Brennen der keramischen Schmelzmassen erfordert (980° C), ermöglichen eine Aushärtung der Metallierungen und damit ein nachträgliches Vergüten der vorher erfolgten Lötverbindung.

MARXKORS (11) gibt an, daß sowohl das Erwärmen bei niedrigen Temperaturen über längere Zeit als auch das kurzzeitige Erwärmen bei höheren Temperaturen eine Aushärtung bewirken. Die genauen Einzelvorgänge der Aushärtung seien bei den Aufbrennlegierungen besonders kompliziert und schwer darstellbar, da die Aufbrennlegierungen aus mehreren Komponenten bestehen. MARXKORS (11) erläutert, daß das Maximum an Härtesteigerung spezifisch für jede Metallegierung bei einer ganz bestimmten Relation von Erwärmungsdauer und Erwärmungstemperatur erreicht wird.

FALCK (7) und SCHOENBECK (16) heben hervor, daß der metallurgische Aufbau des Lotes dem des zu verlötenden Metalls angeglichen sein soll. Der möglichst gleiche Feingehalt an Gold führt zu einer erhöhten allgemeinen Festigkeit. Diese beruht auf einer besseren Homogenität der Lötverbindung, da das heterogene Eutektikum bei der Erhitzung verschwindet.

Eine Schädigung der Festigkeitseigenschaften wird durch die Überhitzung des Lotes hervorgerufen. PRSKAWETZ (14) gibt an, daß einzelne Komponenten des Lotes, die bei normaler Temperaturführung verdampfen, in der Lötverbindung eingeschlossen werden und dort Porositäten verursachen.

STEIDL (18) weist auf die Bedeutung der Festigkeit des Grundwerkstoffes hin. Er stellt fest, daß unter Verwendung des gleichen Lotes die Festigkeit der Lötverbindung bei Metallen mit höherer Festigkeit größere Werte erreicht. Die Bedeutung der Arbeitstemperatur des Lotes auf die Festigkeit der Lötverbindung wird unterschiedlich beurteilt.

STEIDL (18) empfiehlt die Verwendung eines Lotes mit niedriger Arbeitstemperatur. Die Festigkeit der Lötverbindung sei größer, weil die Temperatur niedriger und dadurch die Wärmebehandlung schonender seien.

Der Aussage von STEIDL (18) widerspricht FALCK (7) mit seiner Feststellung, daß der Liquiduspunkt des Lotes möglichst nahe am Soliduspunkt der Metallegierung liegen soll. Je näher diese beiden Temperaturpunkte zusammenliegen, um so besser erfolgt die Diffusion. Eine höhere Arbeitstemperatur des Lotes macht eine höhere Erwärmung des Metalls notwendig.

Metallographische Untersuchungen über den Zustand von zahntechnischen Lotnähten wurden von WALTERS (20) durchgeführt. In seiner Arbeit wurden Lötstellen zwischen Edelmetallegierungen und Nichtedelmetallegierungen untersucht. WALTERS stellte fest, daß an der Lötstelle vom Lot zum nichtedlen Metall keine chemische und keine physikalische Verbindung vorhanden waren.

Die Versuche von LANGENBACH (10) über die Festigkeit von schematisierten Brückenkonstruktionen aus hochgoldhaltigen und goldreduzierten Legierung nach dem Guß, nach dem Löten vor dem Keramikbrand und nach dem Löten nach dem Keramikbrand zeigen, daß bei dem Verfahren der Ofenlötung höhere Festigkeitswerte ermittelt wurden als beim Löten mit der Flamme. Ähnliche Ergebnisse zeigten LANGENBACHS Vergleiche von Ofenlötungen unter Argon-Schutzgas und der Ofenlötung ohne Schutzgas. Er stellte nur einen geringeren Festigkeitsvorteil der Ofenlötung unter Argon-Schutzgas fest.

2.11. Der Füllgrad von Lötspalten

Die DIN-Norm Nr. 8505-1 (2) beschreibt den Füllgrad als den prozentualen Anteil des mit erstarrtem Lot gefüllten Lötnahtvolumens.

Die Benetzung von Werkstücken durch Lot ist als Grenzflächenvorgang und gleichzeitig Platzwechselvorgang zwischen Flußmittel und Lot zu bezeichnen. Das Flußmittel soll die Metalloberfläche von Metalloxiden reinigen und zum Löten vorbereiten. Der Lötspalt ist vor dem Eindringen des Lotes mit Flußmittel gefüllt, das durch das eindringende Lot verdrängt werden muß.

Das Lot breitet sich auf geeigneten Grundwerkstoffen aus. ZIMMERMANN (23) gibt an, daß die Ursache des Ausbreitens oder Benetzens eine mechanische Energie aus der Haftspannung des Lotes ist, das eine Oberfläche zu vergrößern sucht. Benetzt ein Lot gleichzeitig zwei benachbarte Oberflächen, so erzeugt die Haftspannung einen kapillaren Fülldruck (p_k), der das Lot in den Spalt treibt. Für Spaltbreiten von 0,05 mm bis 0,2 mm steht zur Füllung dieser Spalten kapillarer Fülldruck von etwa $5 \cdot 10^{-7} \text{ N/mm}^2$ - $2 \cdot 10^{-6} \text{ N/mm}^2$ zur Verfügung. Er reicht zur Spaltfüllung ohne weiteres Zutun aus. ZIMMERMANN gibt an, daß selbst richtig bemessene Lötspalten nur selten vollständig mit Lot gefüllt sind. In den meisten Fällen enthalten sie kleine Gas- und Flußmitteleinschlüsse, die nicht ganz vermieden werden können, denn das Lot muß in einem einzigen Spülvorgang das Flußmittel aus dem Spalt hinaustreiben. Da diese Einschlüsse untereinander keine Verbindung haben, sind die Werkstücke trotzdem dicht und fest miteinander verbunden. Stellt die Werkstoffprüfung bei Herstellung des Schlifffes

einer Lotnaht und bei Kontrolle der Lötstelle unter dem Mikroskop solche kleinen Einschlüsse fest, so ist dies kein Grund, die Lötung zu verwerfen oder den Lötter für diese Fehlstellen verantwortlich zu machen. ZIMMERMANN (23) meint, daß Lotnähte, die ungefähr zu 80 % mit Lot ausgefüllt sind, also einen Füllgrad von 80 % aufweisen, mit gut zu bezeichnen sind.

2.12. Das Video-Plan-Gerät

Die Hersteller des Video-Plan-Gerätes beschreiben ihre Anlage als computergestützte manuelle Erfassung geometrischer Strukturdaten im Videodialog. Mit dem Video-Plan können Bildstrukturen gemessen, verrechnet, archiviert, analysiert und graphisch dargestellt werden.

Dieses Gerät stand in der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) zur Verfügung und kann zur Füllgradmessung herangezogen werden. Die in den Abbildungen 2a und b dargestellten Möglichkeiten können mit dem Video-Plan erfaßt werden.



Abb. 2a



Abb. 2b

Abb. 2a, b Geometrische Basisparameter; Möglichkeiten der Flächenerfassung und -berechnung durch das Video-Plan-Gerät.

Für die anstehenden Untersuchungen kamen Fläche-, Flächendifferenz-, Umfang- und Struktur-zählung in Frage.

Der Ablauf der Messung vollzieht sich wie folgt:

1. Ein Bild wird auf das Meßtablett gelegt oder projiziert.
2. Die gewünschte Meßfunktion wird gewählt.
3. Mit einem Auswertstift oder CURSOR (Fadenkreuzlupe) werden interessierende Bildpunkte angetastet oder Bildstrukturen abgefahren.

Bilder, die auf Monitoren von Videosystemen, wie Mikroskop mit Fernsehkamera, Elektronenmikroskop, Röntgenbildwandler usw. vorliegen, wurden bisher entweder mit automatischen Systemen zeilenweise abgetastet oder fotografiert und dann manuell ausgewertet. Letzteres ist material- und zeitaufwendig und enthält wegen der Bildschirmkrümmung Fehlermöglichkeiten.

Mit dem System Video-Plan können direkt im Video-Bild Messungen vorgenommen werden: In das Video-Bild wird eine Leuchtmarke eingespielt, die die Funktion des Auswertstiftes übernimmt. Diese Marke wird über das vorher beschriebene magnetostriktive Tablett mit dem angegebenen Auswertstift geführt. Das ist exakter als die andere Möglichkeit, nämlich die Leuchtmarke mit einem Stift auf dem Bildschirm zu führen, da die dicken Bildschirmgläser Parallaxefehler bedingen. Das gibt dem Video-Plan den zusätzlichen Vorteil, daß alle möglichen Bildvorlagen - Papierbilder, Projektionen und Video-Bilder - mit dem gleichen Gerätesystem direkt ausgewertet werden können. Die Spur der Leuchtmarke bleibt beim Nachführen auf dem Bildschirm erhalten, eine umfahrene Struktur ist somit genau gekennzeichnet. "Ausrutscher" können durch Zurückführen der Leuchtmarke gelöscht werden. Die Genauigkeit der Messung

im Bildschirm ist unverändert, da die Meßwerterzeugung über das Meßtablett erfolgt. Fehler durch schräge Blickwinkel oder Bildschirmwölbung entfallen, da die Meßmarke in der Bildebene geführt wird.

Grundsätzlich gilt, daß alle geometrischen Größen, soweit sie als kontrastmäßig unterschiedene Bildpunkte oder Bildstrukturen erkennbar sind, gemessen werden können. Hier liegt eine klare Abgrenzung zu automatischen Bildanalysatoren, die Grauwerte direkt messen können. Solche Systeme versagen gelegentlich, wenn eine Bildstruktur unterschiedliche Grauwerte enthält. Die manuelle Bildanalyse verwendet das Auge und die analytische Fähigkeit des Bedieners, um Bildstrukturen zu unterscheiden.

Das Arbeitsverfahren läßt sich mit Messen ohne Programmieren oder Messen per Tastendruck umschreiben, da der festprogrammierte Mikroprozessor alle Abläufe steuert.

3. SPEZIELLER TEIL

3.1. Beschreibung der untersuchten Werkstoffe

3.1.1. Beschreibung der verwendeten Aufbrennlegierungen für Metallkeramik

Für das Aufbrennen keramischer Massen stehen verschiedene Metallegierungen zur Verfügung.

Bei der Einordnung der Legierungen in bestimmte Gruppierungen treten Schwierigkeiten auf, da noch keine genormte Einteilung vorliegt. In den DIN-Ausschüssen werden zur Zeit genaue Bezeichnungen diskutiert, eine DIN-Norm des deutschen Normausschusses ist in Vorbereitung.

In der folgenden Gruppierung wird als Einteilungskriterium der verschiedenen Metallgruppen der Gehalt an Gold und Metallen der Platingruppe zugrunde gelegt, der in Gewichtsprozent angegeben wird.

Gruppierung der Aufbrennlegierungen:

1. Hochgoldhaltige Aufbrennlegierungen

1a. Hochgoldhaltige Aufbrennlegierungen mit einem Gehalt an Gold und Metallen der Platingruppe von über 90 %.

1b. Reduziert goldhaltige Aufbrennlegierungen mit einem Gehalt an Gold und Metallen der Platingruppe von 75 % bis 90 %.

2. Edelmetallarme Aufbrennlegierungen mit einem Gehalt an Gold und Metallen der Platingruppe von unter 75 %.

3. Palladium-Silber-Legierungen.

4. Nichtedelmetall-Aufbrennlegierungen.

Die in dieser Arbeit untersuchten Aufbrennlegierungen müssen nach dieser Gruppierung in Tabelle 1b eingeordnet werden. Herabond N wird nach dieser Einteilung mit einem Gehalt an Gold und Metallen der Platingruppe von 75,1 Gewichtsprozent ebenfalls den reduzierten goldhaltigen Aufbrennlegierungen zugerechnet. Albabond gehört zwar nicht in die Gruppe der reduzierten Legierungen, wurde aber in die Untersuchungen mit einbezogen, weil es an der Grenze zu den edelmetallreduzierten Legierungen liegt.

Die Metallegierungen der Aufbrennkeramik müssen einen Soliduspunkt besitzen, der deutlich über der erforderlichen Brenntemperatur von 980°C liegt (MEINERS - 13). 150°C Temperaturdifferenz werden empfohlen (EICHNER - 4).

Der hohe Soliduspunkt ist die Voraussetzung, um ein Aufschmelzen der Metallkonstruktion beim Brennen der keramischen Schmelzmassen zu verhindern.

Zur Erhöhung der Solidustemperatur weisen die Edelmetallaufbrennlegierungen einen hohen Anteil der Metalle der Platingruppe auf (MARXKORS - 12).

Zu den Metallen der Platingruppe werden neben dem Platin die Elemente Palladium, Iridium und Rhenium gezählt. WEIKART (22) gibt an, daß der Zusatz von Metallen der Platingruppe zu einem feinkörnigeren Gefüge mit besseren mechanischen Eigenschaften führt. Den Edelmetall-Aufbrennlegierungen müssen geringe Zusätze an Nichtedelmetallen zulegiert sein; es handelt sich in erster Linie um Indium, Zinn und Eisen.

Die Nichtedelmetalle oxidieren beim Glühen des Metallgerüsts und bilden dabei zusammen mit Sauerstoff die Oxidschicht, die zur Bindung der keramischen Grundmassen an die Metallegierung notwendig ist.

Für die Edelmetallegierungen sind in der DIN 13906 "Goldgußlegierungen" die Mindestanforderungen in Bezug auf Zusammensetzung und physikalische Eigenschaften festgelegt. Der Gehalt an Gold und Metallen der Platingruppe ist bei den goldreduzierten und den edelmetallarmen Aufbrennlegierungen gegenüber den hochgoldhaltigen reduziert. Diese Legierungen liegen außerhalb der in der DIN 13906 festgelegten Zusammensetzung. Ihre Festigkeitseigenschaften entsprechen jedoch den DIN-Anforderungen (8).

Dazu hat EICHNER (5) folgendes Schema zusammengestellt (Stand vom 21./22.5.1982).

Legierungen für Kr. u. Br.		Legierungen für Metallkeramik	
Goldreiche Legierungen (DIN 13906) auch Hoch-Goldhaltige Legierungen	<u>Beispiele:</u> Degulor M Maingold > 75 % Anteile Au, Pt u.a.	> 95 % Anteile Au, Pt	<u>Beispiele:</u> Degudent U, H, G Herador G, S, H, NH
Goldreduzierte Legierungen auch Edelmetallreduzierte Legierungen	<u>Beispiele:</u> Duallor Stabilor Aurea G Hera SG < 75 % Anteile Au, Pt, Pd	> 75 % Anteile Au	<u>Beispiele:</u> Deva 4 Degubond 4 Degucast U Herabond Herabond N Herador P Heraloy G
Silber-Palladium-Legierungen (event. auch edelmetallarme Legierungen)	<u>Beispiele:</u> Palliag Alba		<u>Beispiele:</u> Albabond
Nichtedelmetall-Legierungen (NEM) (auch edelmetallfreie Legierungen)	<u>Beispiele:</u> Witex Wirotex Remanit Remanium g		<u>Beispiele:</u> Wiron S Wiron 77 Microbond NP 2 Ultratec

3.1.2. Beschreibung der verwendeten Legierungen für die
Kombination mit Aufbrennlegierungen

Ökonomische Gründe standen bei der Entwicklung der zum Teil neuen Legierungen für die Gußtechnik im Vordergrund, da die bewährten Legierungen Degulor M von der Firma Degussa und Maingold SG von der Firma Heraeus unter die Richtlinien aus dem Bundesanzeiger 192 (1) fallen. Sie sollen durch Legierungen wie Stabilor (Degussa) und Hera SG (Heraeus) ersetzt werden. Die Eigenschaften dieser Legierungen sollen denen der bisher erfolgreich verwendeten Legierungen Degulor M und Maingold SG gleich sein.

EICHNER (5) und Mitarbeiter konnten jedoch feststellen, daß sich z.B. die feinkörnige hochgoldhaltige Legierung vom Typ Degulor M - seit 1953 auf dem Markt - in der Kornzahl/mm² erheblich von Stabilor NF IV unterscheiden. Degulor M weist eine Kornzahl von ca. 2000/mm² auf, Stabilor NF nur von ca. 500/mm².

Folgende Legierungen waren für die Versuche ausgewählt:

A.	Degussa	Legierungstyp	Schmelzintervall in °C
	DEVA	Aufbrennlegierung	1315° - 1235°
	DEGUBOND	Aufbrennlegierung	1280° - 1160°
	STABILOR G	Goldguss-Technik	940° - 860°
B.	Heraeus		
	HERABOND	Aufbrennlegierung	1230° - 1190°
	ALBABOND	Aufbrennlegierung	1280° - 1225°
	HERA SG	Goldguss-Technik	895° - 840°

3.1.3. Beschreibung der verwendeten Lote

Unter einem Lot versteht man ein schmelzbares Zulegemetall, das dem Vereinigen metallischer Werkstücke durch Verlöten dient. Zum Löten der jeweiligen Aufbrennlegierungen werden entsprechende Lote hergestellt. Diese Lote sind auf die jeweiligen Aufbrennlegierungen abgestimmt.

Zur Einteilung der Lote wird anstelle des Schmelzbereichs die Arbeitstemperatur angegeben. Diese entspricht eher den beim Löten vorliegenden technischen Umständen.

Je nach der Verarbeitungstechnik muß ein Lot der entsprechenden Arbeitstemperatur gewählt werden. Die Hersteller bieten für das Löten nach dem Brennen und das Löten vor dem Brennen Lote mit unterschiedlicher Arbeitstemperatur an.

Die Arbeitstemperatur der Lote hängt von ihrer Zusammensetzung ab. Zur Herabsetzung des Schmelzintervalls um 50° C bis 200° C unter den Soliduspunkt der Aufbrennlegierung werden neben Kupfer niedrigschmelzende Komponenten wie Zinn und Zink in aufeinander abgestimmten Anteilen beigegeben (PRSKAWETZ - 14); (SCHOENBECK - 16).

Für die untersuchten Legierungen wurden folgende Lote verwandt:

Degussa	vor dem Brennen	nach dem Brennen
DEVA	Degudent Lot 1 1030°	Uni-Lot 2 760°
DEGUBOND	Degulor-Lot 1 1030°	Uni-Lot 2 760°
STABILOR	Uni-Lot 2 760°	

Heraeus	vor dem Brennen	nach dem Brennen
HERABOND	Herador-Lot 1 1060°	Herador-Lot 2 800°
ALBABOND	Alba-Lot 1 880°	Alba-Lot 2 810°
HERA SG	Hera-Lot 1 800°	

3.2. Durchführung der Lötuntersuchung

3.2.1. Herstellung der Prüfkörper

Die Herstellung der Prüfkörper geschah in Anlehnung an das im Laboratorium übliche Vorgehen. So werden Hinweise und Entscheidungshilfen über das Löten erwartet.

Für die Wachsgерüste wurden stilisierte Kronenstümpfe aus Nirosta-Stahl gefertigt, auf denen im Wachs-Tauchverfahren Kronengerüste mit einer Mindeststärke von 0,6 mm hergestellt wurden. Die Approximalbereiche erhielten je eine Lotfläche von ca. 4,5 mm². Um eine Parallelität der Lotflächen zueinander zu gewährleisten, wurde der Lötspalt mit Wachs zugeschwemmt und anschließend mit einer scharfen Klinge der definierten Schnittstärke von 0,075 mm getrennt. Die weitere Gestaltung geschah nach den Richtlinien der Firmen Degussa, Heraeus und Vita für metallkeramische Arbeiten (siehe Abb. 3).

Die beiden stilisierten Kronenstümpfe befanden sich in einem Kunststoffmodell, so daß stets die gleiche Position zueinander bestand (Abb. 4).

Zum Löten wurden die Kronen mit Klebewachs verbunden, vom Kunststoffmodell genommen und auf ein Lötmodell aus der Löteinbettmasse Deguvest L¹⁾ übertragen.

1) Von der Firma Degussa



Abb. 3 Die modellierten Kronen auf dem Muffelteller vorbereitet zum Einbetten

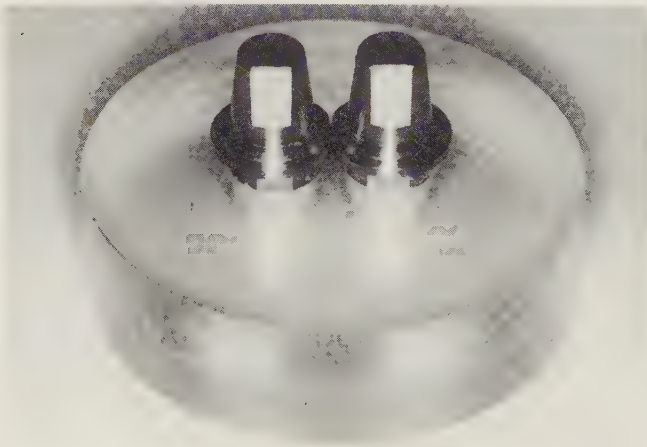


Abb. 4 Die stilisierten Kronenstümpfe im Kunststoffsockel

Die Wachskronen wurden unter Vakuum mit Deguvest HEG-Einbettmasse zu 6 Kronen an einem Ring (Abb. 3) nach Entspannen der Wachsoberfläche mit Waxit eingebettet und gegossen (Abb. 5).

Gegossen wurde in der Degussa-Hochleistungsschmelzanlage (PRESTOMAT B) im Vakuumdruckgussverfahren.

Das Entfernen der Einbettmasse geschah mittels Ultraschallgerät. Nach dem Abtrennen der Gußkanäle (Stärke 3,5 mm) mit der Trennscheibe erfolgte die Bearbeitung der Gußoberfläche, zuerst grob und dann fein in einer Richtung mit Diamantschleifkörpern und keramikgebundenen Schleifsteinen sowie die Reinigung unter fließendem Wasser.



Abb. 5 Die gegossenen Kronen am Gußring mit Gußkegel

3.2.2. Vorbereitung für die Lötuntersuchung

Es wurden von jeder der sechs Legierungen 6 Kronen hergestellt, die dann untereinander, wie in nachfolgender Tabelle aufgeführt,

a) vor dem Aufbrennen mit keramischer Masse und

b) nach dem Aufbrennen mit keramischer Masse

verlötet wurden (Abb. 6 und 7).

Es wurden miteinander verlötet:

DEVA	mit	DEVA	vor dem Brennen	
DEVA	mit	DEVA	nach " "	
DEVA	mit	STABILOR	vor " "	x
DEVA	mit	STABILOR	nach " "	
DEGUBOND	mit	DEGUBOND	vor " "	
DEGUBOND	mit	DEGUBOND	nach " "	
DEGUBOND	mit	STABILOR	vor " "	x
DEGUBOND	mit	STABILOR	nach " "	
STABILOR	mit	STABILOR		
HERABOND	mit	HERABOND	vor " "	
HERABOND	mit	HERABOND	nach " "	
HERABOND	mit	HERA SG	vor " "	x
HERABOND	mit	HERA SG	nach " "	
ALBABOND	mit	ALBABOND	vor " "	
ALBABOND	mit	ALBABOND	nach " "	
ALBABOND	mit	HERA SG	vor " "	x
ALBABOND	mit	HERA SG	nach " "	
HERA SG	mit	HERA SG		

^x= hier wurde nach dem Löten nicht aufgebrannt, obgleich eines der Metalle aus der Reihe der metallkeramischen Legierungen stammt.



Abb. 6 Links Lötung nach dem Brennen, rechts vor dem Brennen

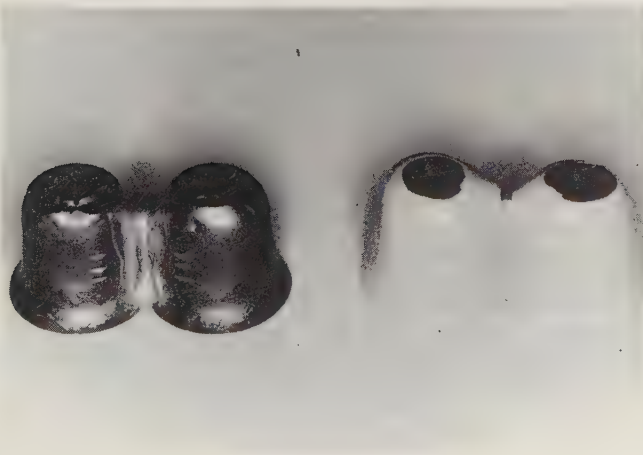


Abb. 7 Links Lötung vor dem Brennen, rechts nach dem Brennen

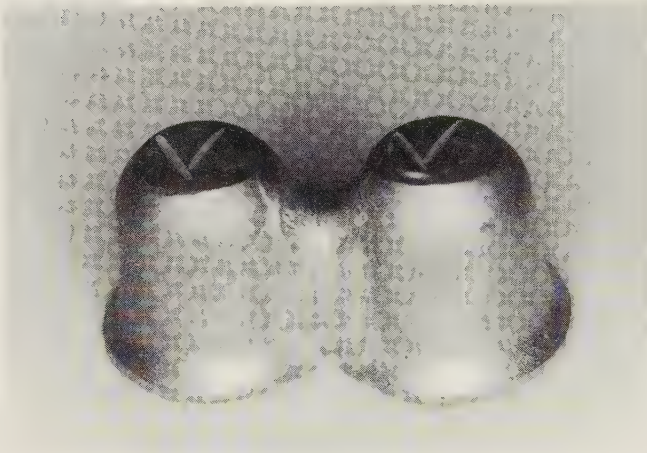


Abb. 8 Lötnaht vor dem Brennen

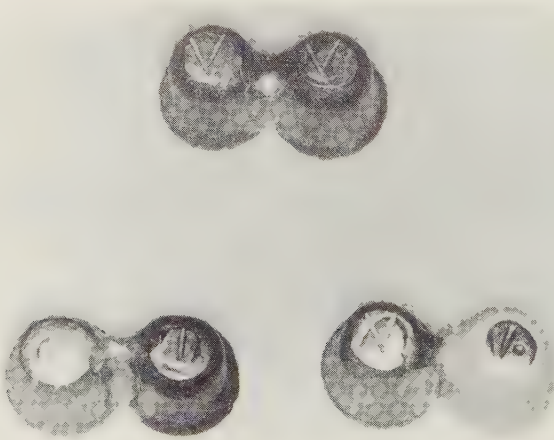


Abb. 9 Oben: Lötung Stabilor an Stabilor
Links: Lötung vor dem Aufbrennen keramischer Masse
Rechts: Lötung nach dem Aufbrennen keramischer Masse

Die Proben: DEVA - STABILOR
 DEGUBOND - STABILOR
 HERABOND - HERA SG
 ALBABOND - HERA SG vor dem Brand

wurden nach dem Löten nicht mit keramischer Masse versehen, denn die Schmelzintervalle der Legierungen Stabilor und Hera SG liegen unter der Temperatur, die für das Aufbrennen keramischer Massen notwendig ist.

Diese Lötungen wurden zum Vergleich vorgenommen und den Untersuchungen beigelegt.

Die Lötflächen wurden zum Löten nach den Vorschriften der Legierungshersteller behandelt und waren metallisch blank und sauber. Der Lötspalt hatte eine Breite zwischen 0,05 mm und 0,1 mm. Der Lötblock bestand aus Deguvest L ¹⁾, als Flussmittel wurde Uniflux ¹⁾, als Lote, die von den Firmen jeweils empfohlenen unter 3.1.3. beschriebene Lote verwendet. Die Lötungen vor dem Brennen (Abb. 8) erfolgten (praxis-treu) als Flammenlötungen. Die Lötungen nach dem Brennen (Abb. 9) wurden im Keramikbrennofen ohne Vakuum und ohne Schutzgas vorgenommen.

Für die Flammenlötungen mußten die Lötblöcke im Vorwärmofen systematisch 15 Minuten bei 600° C vorgewärmt werden.

Die verwendeten keramischen Massen stammten von der Firma Vita (Vita MK 68). Nach dem Löten wurden die gelöteten Teile vorschriftsmäßig in warmer NEACID-Lösung ¹⁾ gereinigt und bearbeitet.

1) von der Firma Degussa

3.2.3. Schliffe

Von den im zahntechnischen Laboratorium hergestellten 18 Proben mußten für die metallurgische Untersuchung Schliffe hergestellt werden. Dies geschah in der BAM (Bundesanstalt für Materialprüfung in Berlin), nachdem die Präparate in Kunststoff eingebettet waren.

3.2.4. Mikroskopische Besichtigung der Lötinähte

Bei der mikroskopischen Untersuchung der Präparate mit verschiedenen Vergrößerungen erwies es sich als zweckmäßig, von den Lötinähten Aufnahmen in 20-facher Vergrößerung herzustellen (Abb. 10 bis 27). Jeweils zwei aneinander gesetzte Abbildungen einer Lotnaht eigneten sich zur Füllgradmessung mit dem Video-Plan-Gerät.

3.2.5. Die Füllgradmessung

Die Füllgradmessung wurde anhand der vorliegenden Fotos mit dem Video-Plan-Gerät durchgeführt. Es ergaben sich folgende Werte:

Schliff-Nr.	Lötung	Erfasste Fläche des Lotspaltes (μm^2)	Füllgrad in (%)
1931	HERABOND-HERABOND	141915500	56,0
1932	HERA SG-ALBABOND	119847500	84,6
1933	HERA SG-HERA SG	129657500	84,3
		133520000	52,8
1934	STABILOR-STABILOR	143345000	79,0
1935	DEVA-DEVA	102585000	80,3
1936	HERA SG-HERABOND	78022500	84,6
1937	ALBABOND-HERA SG	nicht gewertet	
1938	DEGUBOND-DEGUBOND	129780000	78,7
1939	ALBABOND-ALBABOND	110537500 ohne Lücke	69,0
		176507500 mit Lücke	47,3
1940	HERABOND-HERABOND	408222500	76,7
1941	STABILOR-DEGUBOND	157420000	80,2
1943	DEVA-DEVA	148297500	63,1
1944	HERABOND-HERA SG	1756880	91,8
1945	ALBABOND-ALBABOND	17725000 ohne Lücke	77,1
		215162500 mit Lücke	66,2
1946	DEGUBOND-STABILOR	189842500	92,9
1947	DEGUBOND-DEGUBOND	126890000	45,9
1948	DEVA-STABILOR	9955000	79,1
1949	STABILOR-DEVA	139170000	77,3

3.2.5.1. Füllgrad vor dem Brennen (Flammenlötlung)

<u>Schliff-Nr.</u>	<u>Füllgrad in %</u>
1931	56,0
1932	84,6
1933	68,55
1934	79,0
1935	80,3
1944	91,8
1945	71,9
1946	92,9
1947	45,9
1949	77,3

3.2.5.2. Füllgrad nach dem Brennen (Ofenlötlung)

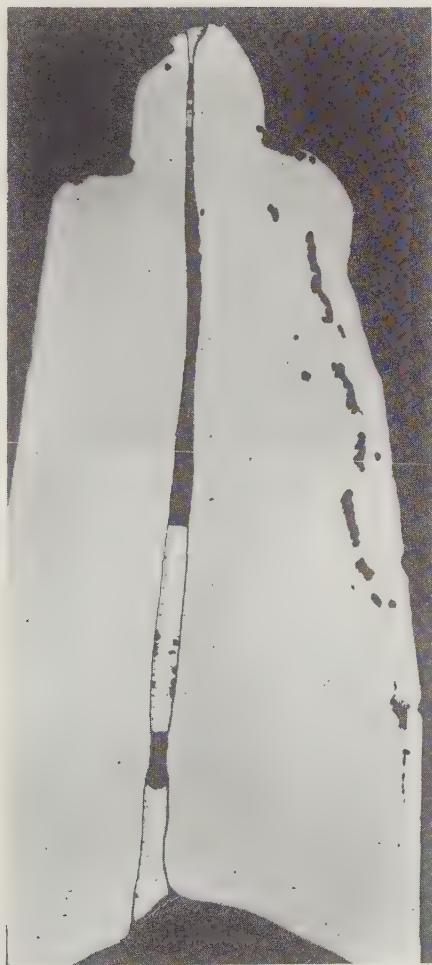
<u>Schliff-Nr.</u>	<u>Füllgrad in %</u>
1936	84,6
1937	nicht gewertet!
1938	78,7
1939	58,15
1940	76,7
1941	80,2
1948	79,1

Präparat 1937 - Abb. 16 - konnte nicht gewertet werden, weil auf der 20-fachen Vergrößerung der rechten Seite der Lotnaht keine Diffusionszone zu erkennen ist.

Zur Füllgradbestimmung wurde bei diesen Messungen eine Schlifffläche herangezogen und nicht wie in den DIN-Definitionen formuliert, ein Volumen.

27471/72

20 : 1



Schliff-Nr. 1931

Abb.10

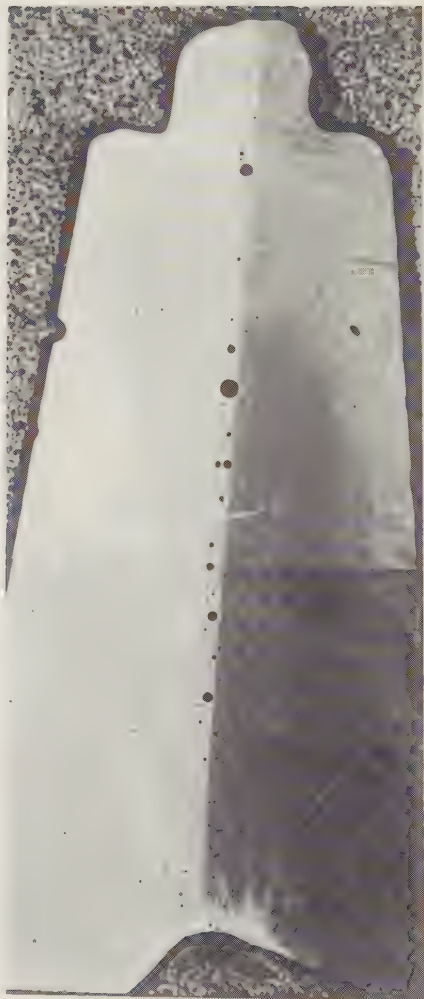
Kronenmaterial: HERABOND - HERABOND

Lot : HERADOR LOT

Schliff nicht kontrastiert.

27495/96

20 : 1



Schliff-Nr. 1932

Abb. 11

Kronenmaterial: links HERA SG - rechts ALBABOND

Lot : HERA LOT 1

Schliff durch Bedampfung mit ZuSe kontrastiert.

27465/66

20 : 1



Schliff-Nr. 1933

Abb. 12

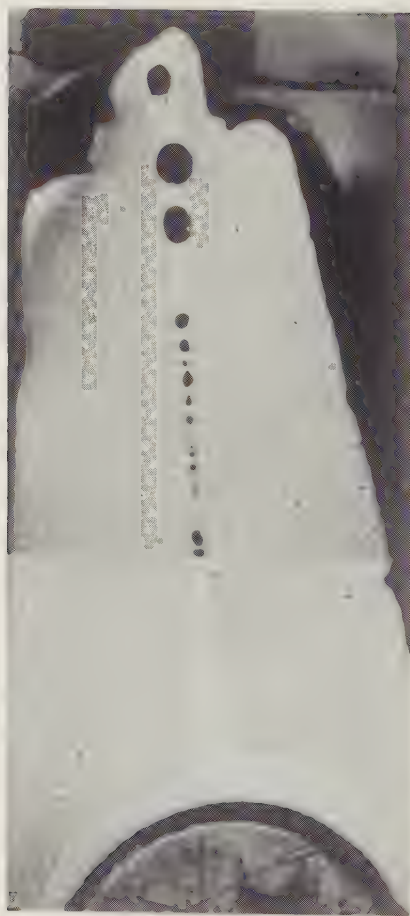
Kronenmaterial: HERA SG - HERA SG

Lot : HERA LOT 1

Schliff nicht kontrastiert.

27477/78

20 : 1



Schliff-Nr. 1934

Abb. 13

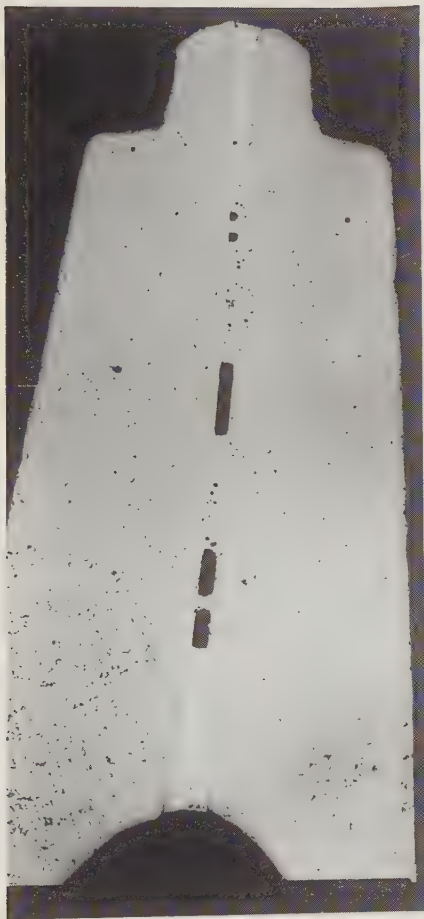
Kronenmaterial: STABILOR - STABILOR

Lot : UNI-LOT 2

Schliff durch Bedampfung mit ZnSe kontrastiert.

27469/70

20 : 1



Schliff-Nr. 1935

Abb. 14

Kronenmaterial: DEVA - DEVA

Lot : DEGUDENT LOT 1

27491/92

20 : 1



Schliff-Nr. 1936

Abb. 15

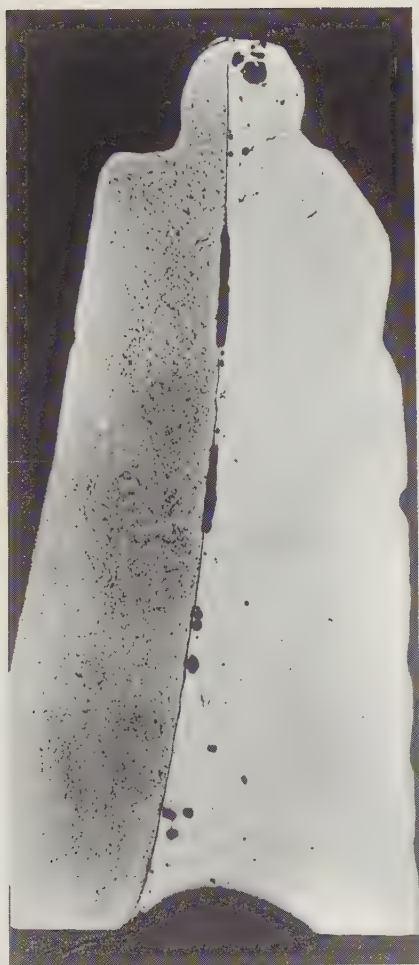
Kronenmaterial: links HERA SG - rechts HERABOND
HERABOND mit Keramik beschichtet.

Lot : HERA LOT 1

Schliff durch die Dichtung

27577/78

20 : 1



Schliff-Nr. 1937

Abb. 16

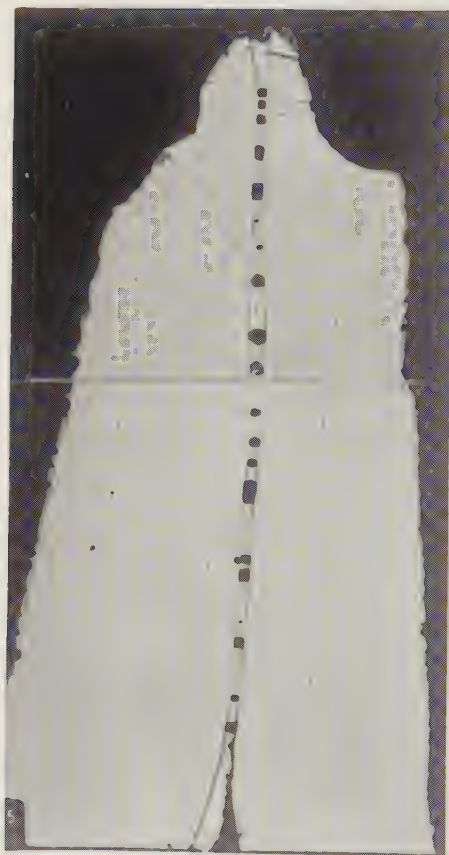
Kronenmaterial: links ALBABOND - rechts HERA SG
ALBABOND mit Keramik beschichtet.

Lot : HERA-LOT 1

Schliff mit einem HCL-HNO₃-Gemisch geätzt.

27473/74

20 : 1



Schliff-Nr. 1938

Abb. 17

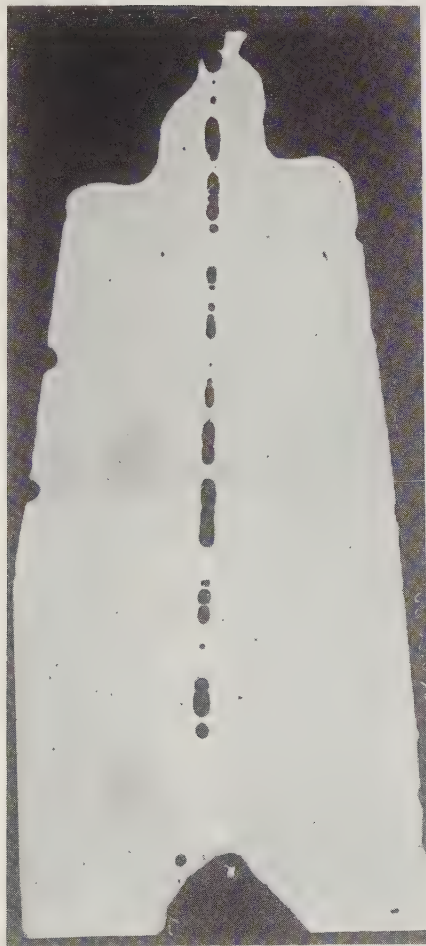
Kronenmaterial: DEGUBOND - DEGUBOND
Beide Kronen mit Keramik beschichtet.

Lot : : UNI-LOT 2

Schliffe nicht kontrastiert.

27489/90

20 : 1



Schliff-Nr. 1939

Abb. 18

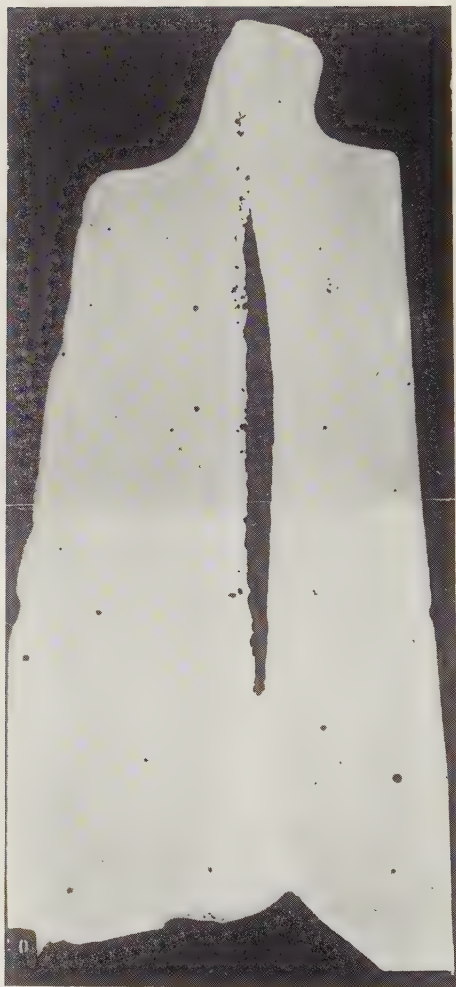
Kronenmaterial: ALBABOND - ALBABOND
Beide Kronen mit Keramik beschichtet.

Lot : ALBA-LOT 2

Schliff: nicht konstruktiv

27481/82

20 : 1



Schliff-Nr. 1940

Abb. 19

Kronenmaterial: HERABOND - HERABOND
Beide Kronen mit Keramik beschichtet.

Lot : HERADOR LOT 2

Schliff nicht kontrastiert.

27493/94

20 : 1



Schliff-Nr. 1941

Abb. 20

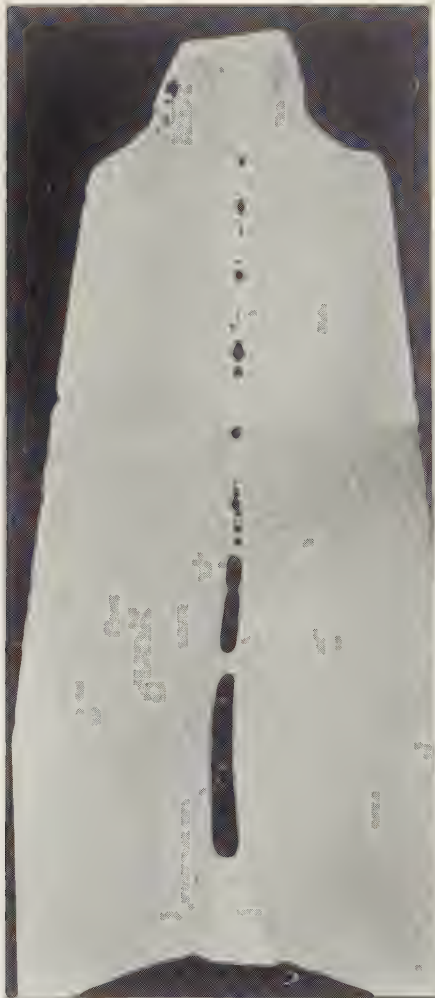
Kronenmaterial: links STABILOR - rechts DEGUBOND
DEGUBOND MIT Keramik beschichtet.

Lot : UNI-LOT 2

Schliff durch Bedampfung mit ZnSe kontrastiert.

27479/80

20 = 1



Schliff-Nr. 1943

Abb. 21

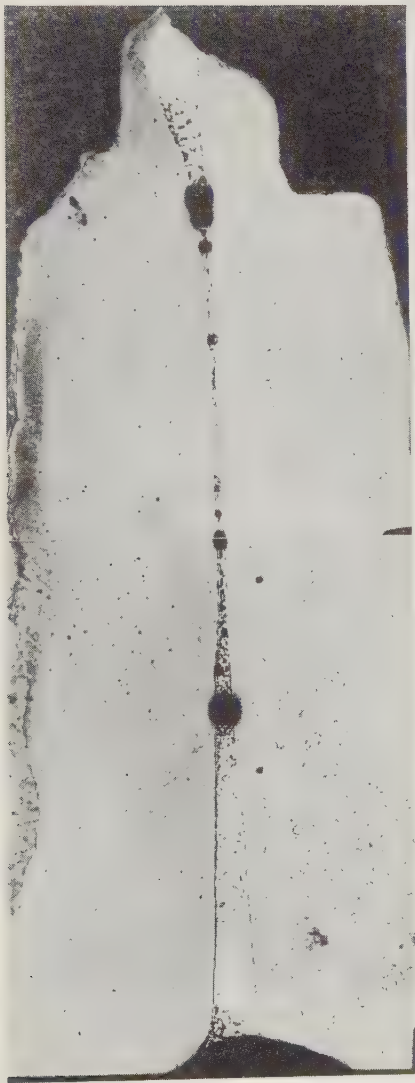
Kronenmaterial: DEVA — DEVA
Beide Kronen mit Keramik beschichtet.

Lot : UNI-LOT 2

Schliff nicht kontrastiert.

27532/33

25 : 1



Schliff-Nr. 1944

Abb. 22

Kronenmaterial: links HERABOND - rechts HERA SG
Lot : HERA LOT 1

Schliff mit einem HCL-HNO₃-Gemisch geätzt.

27475/76

20 : 1



Schliff-Nr. 1945

Abb. 23

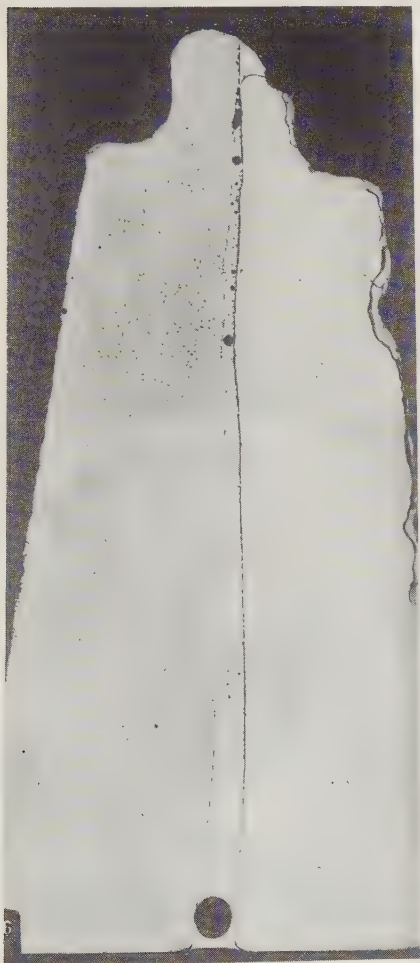
Kronenmaterial: ALBABOND - ALBABOND

Lot : ALBA-LOT 1

Schliff nicht kontrastiert.

27534/35

20 : 1



Schliff-Nr. 1946

Abb. 24

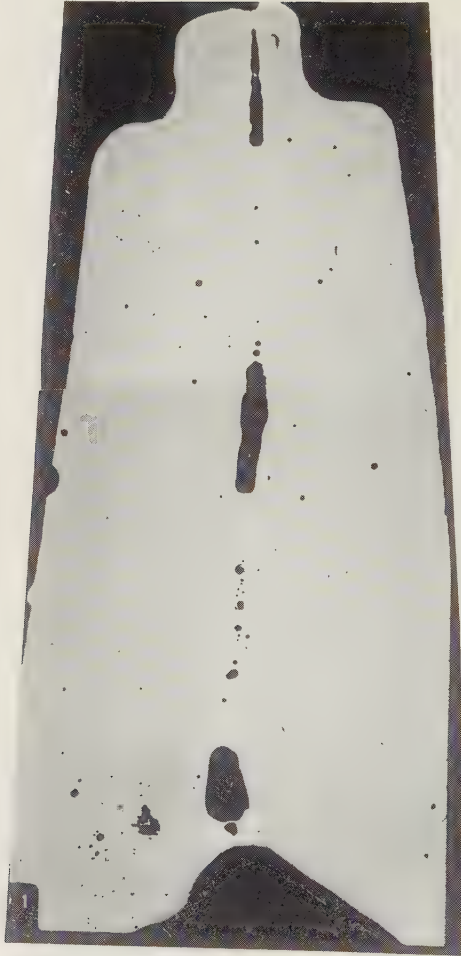
Kronenmaterial: links DEGUBOND - rechts STABILOR

Lot : UNI-LOT 2

Schliff mit einem HCL-HNO_3 -Gemisch geätzt.

27487/88

20 : 1



Schliff-Nr. 1947

Abb. 25

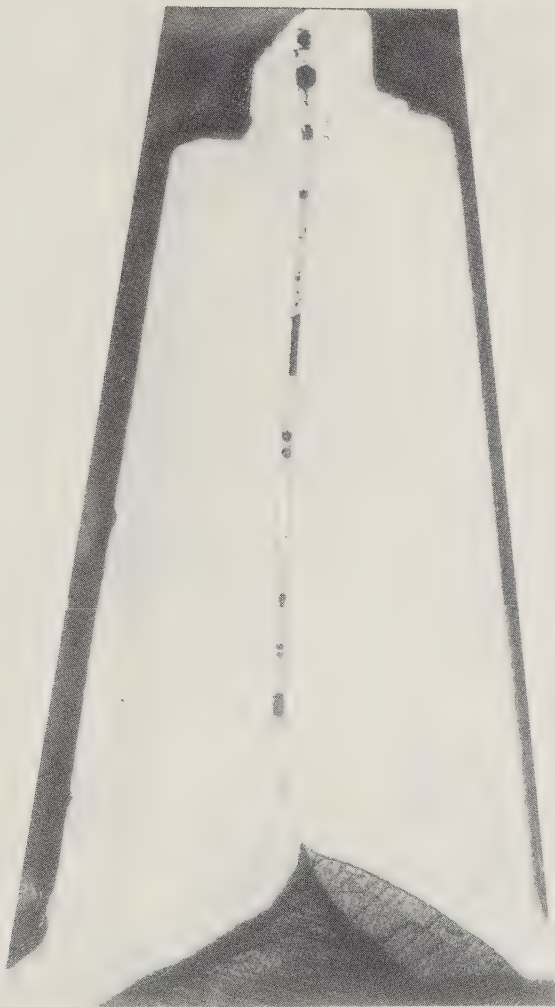
Kronenmaterial: DEGUBOND - DEGUBOND

Lot : DEGUDENT-LOT 1

Schliff nicht kontrastiert.

27536/37

20 : 1



Schliff-Nr. 1948

Abb. 26

Kronenmaterial: links DEVA - rechts STABILOR
DEVA mit Keramik beschichtet

Lot : UNI-LOT 2

Schliff : HCL HNO₃ Gemisch geätzt

27437/39

20 : 1



Schliff-Nr. 1949

Abb.27

Kronenmaterial: links STABILOR - rechts DEVA

Lot : UNI-LOT 2

Schliff nicht kontrastiert.

3.2.6. Ergebnisse aufgrund der mikroskopischen Untersuchungen
und der Füllgradmessungen

Folgende allgemeine Aussagen können aufgrund der mikroskopischen Untersuchung der 18 Lötproben gemacht werden.

1. Bewertung:

Es ist deutlich zwischen Kronenmaterial und Lotmaterial zu unterscheiden. Die Fläche des mehr oder weniger gefüllten Lötspalts hebt sich klar ab. In jedem Lötspalt sind Hohlräume sichtbar, die als Lunker zu bezeichnen sind. In der Regel ist eine "Abgrenzung" zwischen Lot und Gußobjekt erkennbar.

2. Bewertung

Mikroskopisch ist kein Unterschied zwischen der Flammenlötung vor dem Brennen und der Ofenlötung nach dem Brennen feststellbar. Die Lötungen sind bei 100-facher Vergrößerung als metallische Bindung zwischen Lot und Kronen zu erkennen.

In einigen Präparaten ist die große Zahl von Lunkern bzw. Einschlüssen auffällig. Durch diese wird der Füllgrad des Lötspaltes herabgesetzt. Mit Ausnahme des in Abb. 16 dargestellten Präparates sind Diffusionszonen auf beiden Seiten des Lotes zu erkennen. Diese könnten mit der Elektronen-Mikroanalyse näher untersucht werden.

3. Bewertung:

Bei der Erfassung der Werte für den Füllgrad mit dem Video-Plan-Gerät ergab sich, daß der durchschnittliche Füllgrad bei einer untersuchten Zahl von 17 Schliffen 74,62 % betrug.

Nach ZIMMERMANN (23) ist ein Füllgrad von 80 % als gut zu bezeichnen. Mit 8 % unter dieser Marke ist das erzielte durchschnittliche Ergebnis als befriedigend zu bewerten.

Jedoch ist zu bemerken, daß die Streuung der Füllgrade von maximal 91,8 % bis zu einem Minimum von 45,9 % betrug.

Eine Lötung mit einem Füllgrad von 45,9 % ist als nicht mehr akzeptabel zu bezeichnen.

4. Bewertung:

Die Aufgliederung in Flammenlötung (74,85 % Füllgrad) und Ofenlötung (76,24 % Füllgrad) zeigt bei einer Differenz von 1,4 % keinen bedeutenden Unterschied. Dieser war auch bei der mikroskopischen Betrachtung nicht zu erkennen (siehe Bewertung 1).

Der Schliff Nr. 1937 konnte nicht erfaßt werden, da es auf der einen Seite der Lötnaht zu keiner Diffusionszone gekommen ist, sondern Lot und Legierung ein einheitliches Gefüge gebildet haben, diese entstand bei einer Ofenlötung.

5. Bewertung

Die in verschiedenen Schliffen (1931, 1937, 1938, 1944, 1946, 1948, 1949) sichtbaren dunklen Linien zwischen Lot und Metall im Bereich der Diffusionszone sind keine Spalten sondern sog. FRESNEL-Säume. FRESNEL (9) beschreibt Streifen oder Ringe als Beugungserscheinungen des Lichts, die als Schattenwirkung entstehen. Im Auflichtmikroskop wird dieser optische Saum durch die unterschiedliche Härte der Materialien (Legierung bzw. Lot) beim Polieren verursacht. Der FRESNEL-Saum kann sich je nach Fokussierung verschieben.

Jedoch gibt es bei mikroskopischer Betrachtung dafür keine Beweise. Ob es sich endgültig um einen FRESNEL-Saum oder eine Oxidschicht handelt, läßt sich wiederum nur mit der Elektronen-Mikroanalyse feststellen.

4. Diskussion

Ein Vergleich mit anderen Untersuchungen über das Löten ist nicht möglich, da keine vergleichbaren Ergebnisse vorliegen.

Nach mündlicher Mitteilung von kompetenten Mitarbeitern der BAM ist die zahnärztliche Lötmethode als "Primitivlötmethode" anzusehen und daher nicht mit den Maßstäben des industriellen Lötens zu vergleichen.

Die Mitarbeiter der BAM bemängelten z.B. die Verwendung von "Stadtgas" beim Löten, da Stadtgas in seiner Verunreinigung nicht kontrollierbar sei und somit einen unberechenbaren Faktor darstellt. Um diese "Verunreinigungen durch Stadtgas" für die Betrachtung der Lötnaht zu vermeiden, schlägt die BAM das Löten unter Schutzgas im Ofen bei definierter Temperaturführung vor. Das Löten mit der Flamme beinhalte zuviele Fehlermöglichkeiten und die Möglichkeit von Verunreinigungen, die die Qualität der Lötnaht unterschiedlich beeinflussen könnten.

Ein auffälliger Unterschied zwischen Ofenlötung (Lötung nach dem Aufbrennen keramischer Masse) und der Flammenlötung (Lötung vor dem Aufbrennen keramischer Masse) besteht aufgrund der vorliegenden Untersuchungen, die als Pilotstudie bezeichnet werden können, zunächst nicht. Durch systematische Mehrfachuntersuchungen liessen sich möglicherweise Zuordnungen erarbeiten.

Die Füllgradmessungen haben für sich betrachtet ein befriedigendes Ergebnis erbracht. In Lötungen mit gutem Füllgrad ist zum Teil bei

lichtoptischer Betrachtung eine Oxidschicht festzustellen. Die Lötungen mit schlechtem Füllgrad weisen Grenzschichten und Diffusionszonen auf.

Einschränkend muß besonders darauf hingewiesen werden, daß die Lötnaht ein dreidimensionales Gebilde ist, das bei den für den Füllgrad maßgeblichen Schliffen nur zweidimensional dargestellt wird. Um den Füllgrad der Lötnaht in seiner räumlichen Ausdehnung zu untersuchen, könnten Röntgenanalysen durchgeführt werden. Ein guter Füllgrad sagt nichts über die Qualität der Lötung aus, denn die Füllgradmessung ist keineswegs die einzige Methode, um Lötungen zu beurteilen. Mechanische und dynamische Versuche könnten durchgeführt werden und zu weiteren Aussagen führen.

Bei den vorliegenden Lötuntersuchungen wurde immer die von den Firmen Degussa und Heraeus vorgegebene Lötspaltbreite zwischen 0,05 mm und 0,1 mm eingehalten. Es bleibt jedoch zu prüfen, ob ein schmaler Spalt unter 0,05 mm oder der etwas "breitere" Spalt über 0,1 mm eine Verbesserung der Lötnaht herbeiführen kann.

Um die Schliffe der Lotnähte weitergehend zu analysieren, sollten ESMA-Untersuchungen durchgeführt werden. Die ESMA (Elektronen-Strahl-Mikroanalyse) ist zu einer der wichtigsten analytischen Methoden in der Erforschung von Metallen, Legierungen und Mineralien geworden.

Überall dort, wo die Kenntnis der räumlichen Verteilung von Elementen in einer Probe von Bedeutung ist, kann die ESMA eingesetzt werden. Die Untersuchung erfolgt im Vakuum und dient dazu, einzelne Elemente eines Areals aufzufinden oder die in einem Punkt befindlichen Elemente zu analysieren.

Diese sehr aufwendige Methode könnte man z.B. bei der Untersuchung der aufgetretenen FRESNEL-Säume, dem Übergang von Lot zu Metall anwenden.

Ein Grund für die sehr mangelhafte Lötung des Schliffes Nr. 1937 (ALBABOND-HERA SG), die aus einer Ofenlötung resultierte, könnten z.B. die Schwankungen der Temperaturführung trotz der digitalen Steuerung in den Öfen sein. Die Hersteller geben keine Schwankungsbreiten in der Temperaturführung an.

5. Klinische Schlußfolgerung

Die vorliegenden Ergebnisse geben dem praktischen Zahnarzt und dem Zahntechniker wichtige Hinweise.

Das Löten von festsitzendem Zahnersatz aus edelmetallreduzierten Legierungen sollte auf ein Minimum wirklich notwendiger Fälle herabgesetzt werden. Sollte trotzdem eine starre Verbindung gewünscht sein, bieten prothetische Hilfsteile wie Geschiebe eine Alternative.

Bei der Planung von prothetischem festsitzendem Zahnersatz ist dem Einstückgußverfahren der Vorzug zu geben. Gußkronen im Verband mit metallkeramischen Kronen sollten im Einstückgußverfahren aus der Legierung mitgegossen werden, aus der die Aufbrennlegierung besteht.

Im zahntechnischen Laboratorium sollte größere Sorgfalt auf die Vorbereitung von Lötungen gelegt werden. Der Einhaltung der Lötspaltbreiten und die Vorbehandlung der zu verlötenden Gußteile sollte größere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

6. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit dem Verlöten von goldreduzierten Legierungen, die zum Teil für keramische Verblendungen von festsitzendem Zahnersatz geeignet sind.

Veröffentlichungen über Untersuchungen von goldreduzierten Legierungen liegen bisher nur sehr wenige vor.

Die Lötungen der stilisierten Kronen wurden in Anlehnung an das im zahntechnischen Laboratorium üblichen Verfahren durchgeführt.

Die mikroskopische Betrachtung ergab im Zusammenhang mit der Füllgradmessung keine Unterschiede zwischen Ofenlötung und Flammenlötung.

Abschließend wird festgehalten, daß Lötungen allgemein auf ein Minimum zu reduzieren sind.

7. Literaturverzeichnis

1. Der Bundesminister für Änderung der Richtlinien für eine aus-
Arbeit und Sozialordnung reichende, zweckmäßige und wirtschaft-
liche kassenzahnärztliche Versorgung mit
Zahnersatz und Zahnkronen
Bundesanzeiger 192, 11 (1981)

2. DIN-Norm 8505 DIN-Norm 8505, Teil I + II
Erstellt vom Norm-Ausschuß Schweiß-
technik
(NAS) Deutsches Institut für Normung
Berlin, Mai 1979

3. EICHNER, K. Zahnärztliche Werkstoffe und Ihre
Verarbeitung, Band 2
Dr. Alfred Hüthig Verlag, Heidelberg,
1981, 4. Aufl.

4. EICHNER, K. Metallkeramik in der zahnärztlichen
Prothetik
Carl Hanser Verlag München, Wien, 1979

5. EICHNER, K. Anwendung von Metallegierungen in der
Zahnheilkunde - ein Überblick
Zahnärztl.Rdsch., 2, 28 (1983)

6. Fachgruppe Füge-technik Bundesanstalt für Materialprüfung
der BAM Fachgruppenschrift 4.4.1.

7. FALCK, K. Einführung in die Werkstoffe für Zahnärzte
Carl Hanser Verlag, München, 1948

8. Forschungsinstitut für die Goldalternativen
zahnärztliche Versorgung Deutscher Ärzte-Verlag 1980

9. FRESNEL Säume im Lichtpunkt in: Optik von
P. W. Pohl
Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 1948

10. LANGENBACH, K. Untersuchung der Biegefestigkeit von
Aufbrennlegierungen der Metallkeramik
in Abhängigkeit vom Lötverfahren
Med.Diss., Köln, 1981

11. MARXKORS, R. Werkstoffe in der zahnärztlichen Praxis
J. A. Barth-Verlag, Leipzig, 1972

12. MARXKORS, R. Der Kronenersatz in Haunfelder: Praxis
der Zahnheilkunde, Band 3
Verlag Urban & Schwarzenberg, C4, 10 (1969)

13. MEINERS, H. Werkstoffkundliche Grundlagen der Metall-
keramik II
Quintessenz der Zahntechnik 7, 51 (1978)
14. PRSKAWETZ, J. Lote und Löten in der Zahntechnik
Die Zahntechnik 3, 216 (1971)
15. ROHLFING, G. Technische Möglichkeiten für das Verlöten
von Brücken mit keramischen Schmelz-
massen I
Quintessenz der Zahntechnik 11, 33 (1979)
16. SCHOENBECK, F. Zahnärztliche Werkstoffe
J. A. Barth-Verlag, Leipzig, 1942
17. SCHWICKERATH, H. Werkstoffe in der Zahnheilkunde
Verlag "Die Quintessenz", Berlin, 1978
18. STEIDL, P. Schweiß- und Löttechnik - praktische
Hinweise zum Flammlöten unter Bezug auf
die Dentaltechnik
Die Zahntechnik
VEB-Verlag Volk + Gesundheit, Berlin, 1977

19. WAGNER, E. In EICHNER: Zahnärztliche Werkstoffe
und ihre Verarbeitung
Dr. Alfred Hüthig Verlag, Heidelberg, 1974
20. WALTERS, A. Eine mikrophotographische Bewertung
einer Lotstelle zwischen Edel- und Nicht-
edelmetallen
Quintessenz der Zahntechnik 1, 61 (1978)
21. WEBER, H. Wie weit kommen wir ohne Edelmetalle
Zahnärztl.Mitt., 21, 2196 (1982)
22. WEIKART, P. Werkstoffe der Zahnärzte
Carl Hanser Verlag, München, 1966
23. ZIMMERMANN, K.-F. Lötgerechtes Konstruieren in: Technik,
die verbindet
Degussa-Berichte aus Forschung + Praxis
8, 59 (1976)

8. Lebenslauf

Am 27. März 1952 wurde ich als Sohn der Zahnärzte Dr. Ingeborg und Kurt Koppe in Berlin-Nicolassee geboren.

Von 1958 bis 1962 besuchte ich die Zinnowwald-Grundschule in Zehlendorf, wechselte 1962 nach der 4. Klasse auf die Nordgrundschule in Zehlendorf, um als erste Fremdsprache Latein zu erlernen, und 1964 auf das in demselben Stadtteil gelegene Schadow-Gymnasium. Dort bestand ich am 17. Januar 1972 das Abitur.

Von 1972 bis 1975 absolvierte ich in Berlin eine Zahntechnikerlehre, die ich im März 1975 mit dem Gesellenbrief abschloß. Zur gleichen Zeit wurde mir ein Studienplatz für Zahnmedizin in Mainz zugeteilt. 1976 legte ich die naturwissenschaftliche Vorprüfung ab und im März 1978 die zahnärztliche Vorprüfung. Danach erfolgte für den klinischen Abschnitt meines Studiums ein Wechsel nach Berlin, wo ich am 30. Januar 1981 die zahnärztliche Prüfung mit Erfolg abgelegt habe.

Vom 21. April 1981 bis zum 31. März 1983 war ich als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung für klinische Prothetik (Leiter Professor Dr. med. dent. Karl Eichner) des Fachbereichs Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Freien Universität Berlin beschäftigt.

Am 31. März 1983 heiratete ich die Studentin der Zahnmedizin Angelika Gründt.

Seit dem 1. April 1983 bin ich in eigener Praxis in Berlin-Wilmersdorf als Zahnarzt tätig.

gez. Rüdiger Koppe-Gründt

